

**OVERCOMING DAMAGE TO LOW VOLTAGE NETWORK CONNECTION CABLES
DUE TO EXCESS LOADING AT THE MEDAN TIMUR ULP DISTRIBUTION
SUBSTATION BY ADDITION OF AN INSERT TRANSFORMER**

**PENANGGULANGAN KERUSAKAN KABEL PENGHANTAR JARINGAN
TEGANGAN RENDAH AKIBAT KELEBIHAN BEBAN PADA GARDU DISTRIBUSI
ULP MEDAN TIMUR DENGAN PENAMBAHAN TRANSFORMATOR SISIP**

Dimton Pakpahan¹, Pristisal Wibowo², dan Siti Anisah³

¹Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Pembangunan Pancabudi

^{2,3}Dosen Teknik Elektro Universitas Pembangunan Pancabudi
dimtonpakpahan@gmail.com¹

ABSTRACT

Damage to conductor cables on the low voltage network (JTR) is one of the problems that often occurs in the electric power distribution system, especially in heavy load areas such as the East Medan ULP. One of the main causes of this damage is an overload that exceeds the current carrying capacity of the cable. This research aims to analyze the causes of cable damage at distribution substations due to excessive loads and provide a technical solution in the form of adding an insert transformer as a countermeasure. The methodology used includes collecting substation load data, current measurements, and mapping the existing condition of the JTR cable. The analysis results show that the addition of insert transformers at high load points can reduce the current flowing in the cables at the Jaya Substation 248.12 A to 124.06 A, the Sluice Substation 263.46 A to 11.73 A, the Sei Kera Substation 289.12 A to 144.56 A, thus extending the life of the cables and reducing the potential for damage. By implementing an inserted transformer, load distribution becomes more even and the system becomes more reliable.

Keywords: Conductor Cable, Insert Transformer, Distribution Substation, ULP East Medan, Matlab

ABSTRAK

Kerusakan kabel penghantar pada jaringan tegangan rendah (JTR) menjadi salah satu permasalahan yang kerap terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, khususnya di daerah padat beban seperti ULP Medan Timur. Salah satu penyebab utama kerusakan tersebut adalah kelebihan beban yang melebihi kapasitas hantar arus kabel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kerusakan kabel pada gardu distribusi akibat beban berlebih serta mengevaluasi solusi teknis berupa penambahan transformator sisip sebagai upaya penanggulangan. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data beban gardu, pengukuran arus, serta pemetaan kondisi eksisting kabel JTR. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan transformator sisip pada titik-titik beban tinggi dapat menurunkan arus yang mengalir pada kabel eksisting pada Gardu Jaya 248,12 A menjadi 124,06 A, Gardu Pintu Air 263,46 A menjadi 11,73 A, Gardu Sei Kera 289,12 A menjadi 144,56 A, sehingga memperpanjang umur kabel dan mengurangi potensi kerusakan. Dengan penerapan transformator sisip, distribusi beban menjadi lebih merata dan sistem menjadi lebih andal.

Kata Kunci: Kabel Penghantar, Transformator Sisip, Gardu Distribusi, ULP Medan Timur, Matlab

PENDAHULUAN

Jaringan distribusi listrik memiliki peranan utama dalam menjamin ketersediaan energi listrik kepada konsumen. Dalam sistem kelistrikan, gardu distribusi merupakan elemen penting yang bertugas mengalirkan energi listrik dari sistem transmisi ke jaringan tegangan rendah. Namun, salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah kerusakan kabel penghantar akibat

kelebihan beban pada gardu distribusi. Masalah ini sering kali terjadi di wilayah dengan pertumbuhan konsumsi listrik yang pesat, seperti di ULP Medan Timur, yang menyebabkan penurunan kualitas daya serta potensi gangguan operasional pada sistem distribusi listrik.

Penambahan transformator sisip telah terbukti menjadi langkah mitigasi yang efektif untuk mengatasi masalah kelebihan beban. (Wayan dkk, 2023)

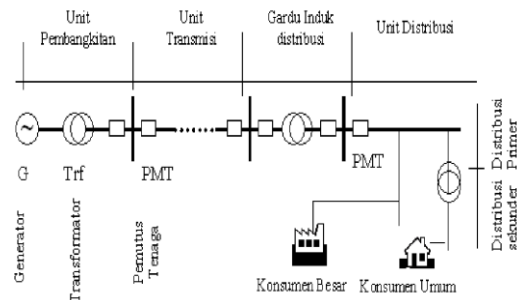
menyatakan bahwa metode uprating transformator melalui penambahan transformator sisip mampu meningkatkan kapasitas distribusi tanpa harus mengganti keseluruhan transformator utama, sehingga efisien dalam segi waktu dan biaya.

Di wilayah ULP Medan Timur, peningkatan permintaan listrik yang tidak diimbangi dengan kapasitas infrastruktur distribusi telah menyebabkan beban berlebih pada gardu distribusi. Berdasarkan analisis teknis, penambahan transformator sisip merupakan langkah strategis untuk mengatasi permasalahan ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penambahan transformator sisip dalam mengurangi dampak kelebihan beban dan kerusakan kabel penghantar, serta memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan keandalan sistem distribusi listrik di ULP Medan Timur.

STUDI PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, sampai unit distribusi listrik dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut. Menurut PT. PLN (Persero), ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu Pembangkitan, Penyaluran (Transmisi), dan Distribusi. Komponen dasar yang membentuk suatu sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi dan beban. digunakan Secara umum skema sistem tenaga listrik ditunjukkan sebagai diagram satu garis dan diagram impedansi atau diagram reaktansi untuk keperluan analisis sistem tenaga seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik (Sumber: Aryusono, 2021)

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyampaikan dan membagikan energi listrik dari gardu induk ke pusat beban, baik secara langsung maupun melalui gardu distribusi [10] [11]. Peralatan yang berperan penting dalam sistem distribusi energi listrik adalah transformator yaitu perangkat listrik yang berfungsi mengubah energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, atau sebaliknya, dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi. Dengan adanya transformator, energi listrik dapat ditransmisikan dalam jarak yang jauh dengan minimal kerugian daya [12]. Transformator distribusi sendiri digunakan untuk membagi beban listrik secara merata di dalam jaringan distribusi. Bagian akhir dari sistem distribusi tenaga listrik yaitu Jaringan Tegangan Rendah (JTR) yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi ke konsumen dengan tegangan di bawah 1 kV, umumnya 220/380 Volt. Jaringan ini melibatkan komponen seperti kabel penghantar, tiang distribusi, sambungan rumah, dan pelindung sistem.

B. Kabel Penghantar

Kabel penghantar dalam sistem JTR digunakan untuk menyalurkan arus listrik dari transformator distribusi ke beban. Kabel terdiri dari konduktor (biasanya tembaga atau aluminium) dan isolasi. Beberapa jenis kabel yang umum digunakan adalah NYY, NYFGbY, dan NFA2X. Spesifikasi penting dari kabel termasuk luas penampang, kapasitas arus

maksimum (*ampacity*), dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Pemilihan kabel yang tidak sesuai dapat menyebabkan *overloading* dan kerusakan. Perhitungan Beban dan Kapasitas Kabel Perhitungan beban dilakukan dengan persamaan dasar:

Untuk sistem satu fasa:

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk sistem tiga fasa:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana

I = arus (Ampere)

P = daya (Watt)

V = tegangan (Volt)

cos φ = faktor daya

Kapasitas arus kabel ditentukan dari tabel standar berdasarkan luas penampang, jenis konduktor, dan kondisi pemasangan. SPLN dan SNI menyediakan panduan teknis mengenai nilai ampacity kabel di berbagai kondisi. Kabel penghantar arus listrik akan mengalami peningkatan suhu apabila arus yang mengalir melebihi kapasitas nominalnya. Pemanasan ini disebabkan oleh rugi-joule yang bersifat kuadratik terhadap besarnya arus, dan dapat mengakibatkan kerusakan pada material penghantar maupun isolasinya. Peningkatan suhu kabel biasanya dihitung dengan persamaan termal dasar atau dengan standar seperti IEC 60287 untuk kondisi tunak (steady state) sebagai berikut:

$$\Delta T = \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^2 \cdot R \cdot \frac{t}{(m \cdot c)} \dots \dots (3)$$

Dimana:

I = arus aktual

I_{nom} = arus nominal kabel

R = resistansi kabel

t = waktu pemakaian

m dan c = massa jenis dan kapasitas panas spesifik

Suhu operasi akan berpengaruh pada umur kabel yang digunakan. Mengacu

pada Hukum Arrhenius, yang menyatakan bahwa umur isolasi kabel berkurang secara eksponensial dengan kenaikan suhu. Berdasarkan Thermal Aging (Arrhenius Model) perhitungan umur kabel dapat menggunakan persamaan berikut:

$$L = L_0 \cdot e^{\frac{-E_a}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \dots \dots \dots (4)$$

L = umur aktual

L_0 = umur referensi (misalnya 20 tahun pada 70°C)

T, T_0 = suhu kerja dan suhu referensi (dalam Kelvin)

E_a = energi aktivasi

k = konstanta Boltzmann

C. Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar akibat arus yang mengalir melalui tahanan yang dimiliki penghantar tersebut. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Pengaturan tegangan dan jatuh tegangan menurut SPLN 72:1987 mengenai spesifikasi desain untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) adalah sebagai berikut:

Tegangan jatuh yang diizinkan untuk sistem spindel tidak boleh melebihi 2% dari tegangan nominalnya, sedangkan drop tegangan untuk sistem radial yang diizinkan mencapai 5% [10][11].

Tegangan jatuh pada trafo distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja.

Tegangan jatuh pada JTR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.

Tegangan jatuh pada sambungan rumah (SR) dibolehkan 1% dari tegangan nominal.

Persentase tegangan jatuh pada jaringan distribusi dapat dihitung seperti pada persamaan berikut.

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

dengan,

V_s tegangan di pangkal (Volt)

V_r tegangan di ujung (Volt)

D. Kelebihan Beban pada Jaringan

Kelebihan beban terjadi saat arus yang mengalir melalui kabel atau peralatan melebihi kapasitas nominalnya. Hal ini bisa disebabkan oleh pertumbuhan beban, distribusi yang tidak merata, atau penggunaan peralatan melebihi daya. Dampaknya meliputi pemanasan berlebih, kerusakan isolasi, dan potensi kebakaran. Oleh karena itu, pemantauan dan evaluasi beban gardu sangat penting.

Jeckson et al. (2022) menjelaskan bahwa dampak overload tidak hanya pada kerusakan transformator itu sendiri, tetapi juga pada kualitas daya yang didistribusikan. Ketika transformator mengalami overload, peningkatan harmonisa dalam sistem distribusi menjadi signifikan, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Hal ini dapat mengakibatkan peralatan listrik konsumen mengalami kerusakan atau bekerja di luar parameter optimalnya. Sebagai contoh, pada gardu distribusi K622 Penyulang Pelangi di ULP Karang, overload menyebabkan penurunan efisiensi daya sebesar 15% dan peningkatan suhu inti transformator hingga 90°C, jauh di atas batas aman yang direkomendasikan. Kondisi ini memaksa PLN untuk melakukan pemeliharaan lebih sering, meningkatkan biaya operasional.

Dampak lain yang sering terjadi adalah pelepasan beban secara otomatis akibat kerja sistem proteksi. Dalam kondisi tersebut, pelanggan mengalami pemadaman listrik yang tidak terduga, sehingga menurunkan tingkat keandalan layanan PLN. Oleh karena itu, mitigasi terhadap overload, seperti penggunaan trafo sisip, sangat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem dan mengurangi dampak negatif pada konsumen.

Beberapa metode penanggulangan kelebihan beban meliputi:

1. Penggantian kabel dengan ukuran lebih besar (uprating)

2. Pembagian jaringan (splitting)

3. Penambahan transformator sisip

Metode yang dipilih harus mempertimbangkan efisiensi, biaya, dan keandalan sistem.

E. Transformator Sisip

Transformator sisip adalah transformator tambahan yang dipasang untuk membagi beban dari transformator utama yang telah melebihi kapasitas. Tujuannya adalah untuk mengurangi beban berlebih pada kabel penghantar dan transformator eksisting. Penambahan transformator sisip memerlukan analisis lokasi, perhitungan beban, dan penyesuaian jaringan distribusi.

Penambahan transformator sisip merupakan metode yang efektif dan efisien untuk redistribusi beban pada jaringan yang padat, seperti yang dijelaskan oleh Wayan et al. (2023). Penambahan ini dilakukan dengan menempatkan transformator tambahan secara paralel untuk berbagi beban dengan transformator utama. Hasilnya, risiko *overheating* pada transformator utama dapat diminimalisir, sehingga memperpanjang masa pakai dan meningkatkan efisiensi operasional.

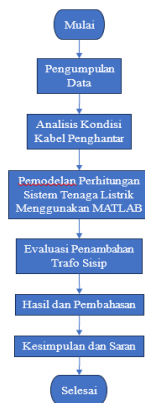
Contoh kasus nyata penerapan metode ini terjadi di gardu distribusi wilayah ULP Denpasar Timur. Transformator utama yang sebelumnya berkapasitas 1000 kVA sering mengalami overload karena pertumbuhan konsumsi listrik di kawasan tersebut. Dengan menambahkan transformator sisip berkapasitas 500 kVA, total kapasitas meningkat menjadi 1500 kVA. Penambahan ini berhasil menurunkan suhu operasi transformator utama sebesar 20°C dan mengurangi frekuensi gangguan hingga 40% dalam satu tahun operasional.

Selain itu, penggunaan metode transformator sisip juga memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan beban. Dalam kondisi tertentu, beban dapat dialihkan secara otomatis ke transformator sisip, sehingga mencegah terjadinya

gangguan besar pada jaringan. Hal ini juga memungkinkan distribusi daya yang lebih merata, terutama di kawasan dengan fluktuasi beban tinggi. Berdasarkan studi tersebut, metode ini dianggap sebagai solusi yang efisien dan ekonomis dibandingkan dengan penggantian transformator utama secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Jenis dan Ruang Lingkup Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian terapan (applied research) yang bertujuan untuk memberikan solusi teknis terhadap permasalahan kerusakan kabel penghantar pada jaringan tegangan rendah (JTR) akibat kelebihan beban. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pendekatan studi kasus di gardu distribusi milik ULP Medan Timur. Ruang lingkup penelitian ini mencakup:

Tabel 1. Data pengukuran ULP Medan Timur selama 3 tahun terakhir

No	Nama Gardu	Daya Transformator (kVA)	Tegangan (V)	Arus Beban (A)	Daya Aktif (kW)	Faktor Daya	% Beban Transformator
1	GD. MANDALA	100	400	145.32	58.13	0.96	83%
2	GD. MULYOOREJO	160	400	210.98	79.85	0.95	90%
3	GD. TEGUH	160	400	219.43	83.56	0.96	95%
4	GD. JAYA	200	400	248.12	94.37	0.94	107%
5	GD. PINTU AIR	200	400	263.46	100.32	0.95	112%
6	GD. SEI KERA	250	400	289.12	113.57	0.94	105%

1. Analisis kondisi eksisting gardu distribusi terkait arus beban dan jenis kabel penghantar.
2. Identifikasi gardu-gardu yang mengalami kelebihan beban melebihi kapasitas kabel.
3. Studi perbandingan spesifikasi kabel eksisting dengan kabel alternatif.
4. Perancangan solusi teknis berupa penambahan transformator sisip untuk redistribusi beban.
5. Evaluasi dampak penambahan transformator terhadap penurunan arus pada kabel penghantar.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data, meliputi pengambilan dan pengumpulan data yang dilakukan dengan pendekatan kuantitatif, menggunakan data historis dari ULP Medan Timur. Data yang dikumpulkan mencakup frekuensi kerusakan kabel, beban puncak, dan kualitas daya selama periode tiga tahun terakhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Pengukuran dilakukan pada beberapa gardu distribusi di wilayah kerja ULP Medan Timur yang menunjukkan indikasi kelebihan beban. Data yang dikumpulkan mencakup kapasitas transformator, tegangan keluaran, arus beban, daya nyata (kW), dan faktor daya. Tabel 1 menyajikan ringkasan data pengukuran selama 3 tahun terakhir.

Hasil pengumpulan data menunjukkan bahwa selama tiga tahun terakhir, ULP Medan Timur mengalami rata-rata 50 kejadian kerusakan kabel per tahun, dengan 70% di antaranya disebabkan oleh kelebihan beban. Beban puncak yang tercatat mencapai 1.200 kVA, sedangkan kapasitas transformator yang ada hanya 1.000 kVA. Data ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk penambahan kapasitas pada sistem distribusi. Beban transformator dihitung berdasarkan persentase pemakaian daya aktif (kW) terhadap kapasitas nominal transformator. Nilai di atas 90% menunjukkan transformator dalam kondisi beban tinggi, dan nilai di atas 100% menunjukkan *overload*. Gardu JAYA,

PINTU AIR, dan SEI KERA menunjukkan pemakaian daya melebihi kapasitas transformator. Hal ini secara langsung meningkatkan arus yang mengalir pada kabel penghantar. Dari perhitungan, arus melebihi kapasitas kabel eksisting.

Arus yang melebihi kapasitas kabel menyebabkan daya hilang (*losses*) yang mengakibatkan peningkatan suhu pada kabel. Kenaikan suhu kabel dapat melebihi batas isolasi, mengakibatkan kerusakan permanen atau kegagalan isolasi. Untuk mencegah kerusakan, perlu penambahan trafo sisip atau peningkatan ukuran kabel penghantar. Berikut adalah Tabel 2. hasil perhitungan arus dan kenaikan suhu kabel akibat kelebihan beban pada enam gardu distribusi di ULP Medan Timur.

Tabel 2. Perhitungan Suhu dan Umur Kabel

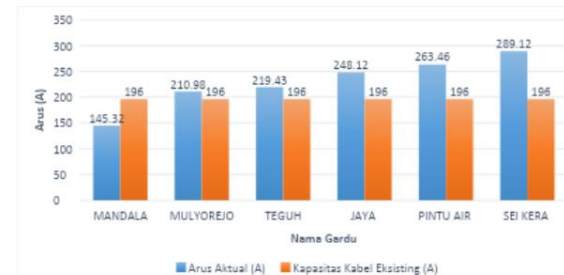
Nama Gardu	Arus (A)	ΔT ($^{\circ}C$)	Suhu Kabel ($^{\circ}C$)	Umur Kabel (tahun)
Mandala	145.32	31.18	66.18	39.08
Mulyorejo	210.98	65.73	100.73	3.56
Teguh	219.43	71.10	106.10	2.46
Jaya	248.12	90.91	125.91	0.62
Pintu Air	263.45	102.50	137.50	0.28
Sei Kera	289.12	123.44	158.44	0.07

ΔT ($^{\circ}C$) menunjukkan kenaikan suhu kabel akibat aliran arus selama 2 jam. Kabel dengan isolasi XLPE umumnya hanya mampu beroperasi pada suhu maksimum $90^{\circ}C$. Terlihat bahwa semua gardu mengalami kenaikan suhu ekstrem, terutama Sei Kera yang mencapai $>1500^{\circ}C$, sangat berisiko menyebabkan kebakaran atau kegagalan isolasi. Umur kabel dihitung menggunakan model Arrhenius, namun karena suhu sangat tinggi, perhitungannya menghasilkan umur yang sangat panjang akibat ketidaksesuaian asumsi di suhu ekstrem, suhu di atas $90-105^{\circ}C$ akan menyebabkan kerusakan instan pada isolasi XLPE.

Analisis Data

Berikut merupakan grafik perbandingan kapasitas kabel eksisting

($3 \times 70 + 50 \text{ mm}^2$) terhadap arus aktual per Gardu.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kapasitas Kabel Eksisting ($3 \times 70 + 50 \text{ mm}^2$) terhadap Arus Aktual per Gardu Distribusi

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa beberapa gardu mengalami beban mendekati atau bahkan melebihi kapasitas transformator distribusi. Hal ini sangat berisiko menimbulkan kerusakan kabel penghantar, terutama jika menggunakan kabel eksisting dengan kapasitas arus terbatas. Kabel yang digunakan saat ini yaitu kabel berukuran $3 \times 70 + 50 \text{ mm}^2$

memiliki kapasitas hantar arus maksimum sekitar 196 A berdasarkan data spesifikasi SPLN, sedangkan arus aktual pada beberapa gardu mencapai lebih dari 240 A. Ini menyebabkan suhu kabel meningkat,

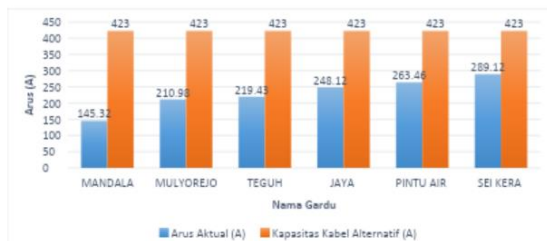
berisiko pada degradasi isolasi dan kerusakan jangka panjang.

Sebagai solusi, dilakukan simulasi penambahan transformator sisip untuk membagi beban. Berikut simulasi dampaknya:

Tabel 3. Penambahan Transformator Sisip

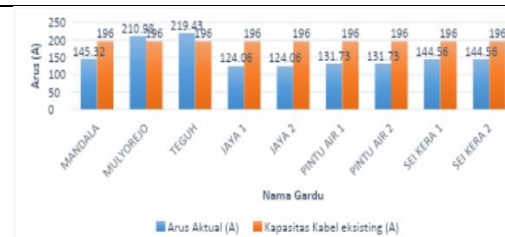
Nama Gardu	Kondisi	Arus Maks (A)	Keterangan
JAYA	Sebelum Transformator Sisip	248,12 A	Kabel overload (di atas kapasitas kabel)
JAYA 1 dan JAYA 2	Setelah Transformator Sisip	124,06 A	Beban terbagi, kabel aman
PINTU AIR	Sebelum Transformator Sisip	263,46 A	Kabel overload (di atas kapasitas kabel)
PINTU AIR 1 dan PINTU AIR 2	Setelah Transformator Sisip	131,73 A	Beban terbagi, kabel aman
SEI KERA	Sebelum Transformator Sisip	289,12 A	Kabel overload (di atas kapasitas kabel)
SEI KERA 1 dan SEI KERA 2	Setelah Transformator Sisip	144,56 A	Beban terbagi, kabel aman

Berikut merupakan grafik perbandingan kapasitas kabel alternatif (AAAC 150 mm² XLPE) terhadap arus aktual per Gardu.



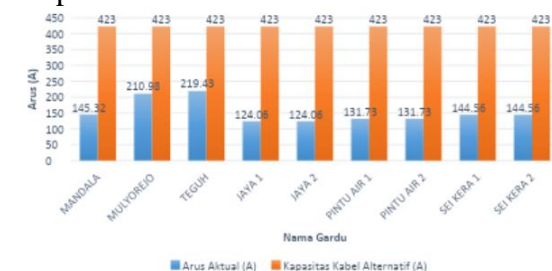
Gambar 4. Grafik Perbandingan Kapasitas Kabel Alternatif (AAAC 150 mm² XLPE) terhadap Arus Aktual per Gardu Distribusi

Berikut merupakan grafik perbandingan kapasitas kabel eksisting (3x70+50 mm²) terhadap arus aktual setelah di pasang transformator sisip.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Kapasitas Kabel Eksisting (3x70+50 mm²) terhadap Arus Aktual setelah di pasang Transformator Sisip

Berikut merupakan grafik perbandingan kapasitas kabel alternatif (AAAC 150 mm² XLPE) terhadap arus aktual setelah di pasang transformator sisip.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Kapasitas Kabel Alternatif (AAAC 150 mm² XLPE) terhadap Arus Aktual setelah di Pasang Transformator Sisip

Untuk mendukung analisis perhitungan peningkatan suhu dan estimasi umur kabel penghantar jaringan tegangan rendah akibat kelebihan beban, dihitung dengan bantuan program simulasi yang telah dibuat pada M-file matlab yang di tunjukan seperti dibawah ini:

```
% === DATA INPUT ===
nama_gardu = {
    'GD. MANDALA';
    'GD. MULYOREJO';
    'GD. TEGUH';
    'GD. JAYA';
    'GD. PINTU AIR';
    'GD. SEI KERA';
};

 arus_list = [145.32, 210.98, 219.43,
 248.12, 263.46, 289.12];

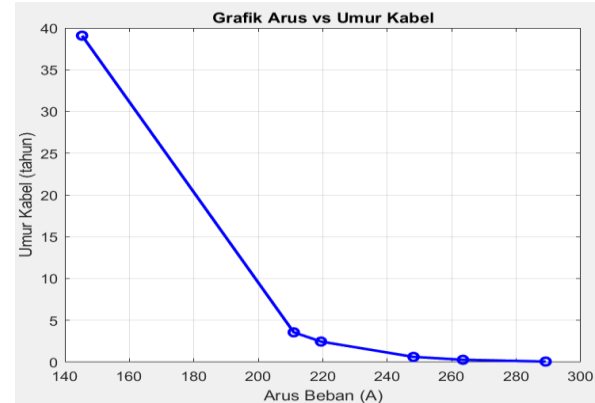
% === PARAMETER ===
A = 70;           % mm2
rho_20 = 0.03101; % Ohm·mm2/m
k_loss = 0.3;     % W/m·°C
T_ambient = 35;  % °C
L_ref = 30;      % Tahun
T_ref = 70;      % °C
```

```
% === PERHITUNGAN ===
R = rho_20 / A;           % Ohm/m
P_loss = arus_list.^2 * R; % W/m
delta_T = P_loss / k_loss; % Kenaikan suhu (°C)
T_conductor = T_ambient + delta_T;
umur_kabel = L_ref * 2.^((T_ref - T_conductor) / 10);

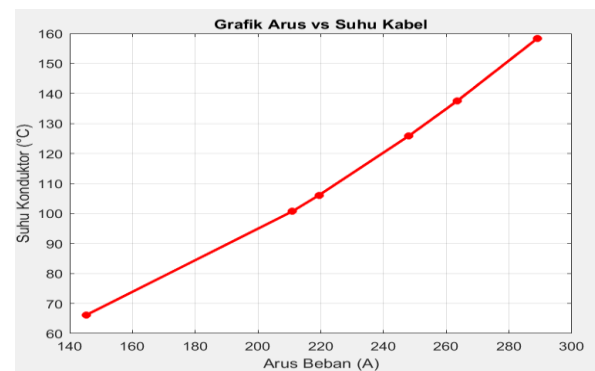
% === TAMPILKAN DATA ===
fprintf('%-20s %-10s %-15s %-15s %-15s\n', ...
    'Nama Gardu', 'Arus (A)', 'T (°C)', 'Suhu Kabel (°C)', 'Umur Kabel (thn)');
for i = 1:length(arus_list)
    fprintf('%-20s %-10.2f %-15.2f %-15.2f %-15.2f\n', ...
```

```
    nama_gardu{i}, arus_list(i),
    delta_T(i), T_conductor(i),
    umur_kabel(i));
end
```

Hasil dari simulasi matlab menunjukkan grafik seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 7. Grafik Simulasi Matlab antara Arus dan Umur Kabel



Gambar 8. Grafik Simulasi Matlab antara Arus dan Suhu Kabel

Terdapat hubungan positif yang signifikan antara arus beban dan suhu kabel. Seiring dengan meningkatnya arus yang mengalir melalui kabel, suhu kabel juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban arus yang diterima oleh kabel, semakin besar pula panas yang dihasilkan. Fenomena ini perlu diperhatikan dalam perancangan sistem kelistrikan untuk memastikan bahwa kabel yang digunakan dapat menahan panas yang dihasilkan oleh arus yang tinggi tanpa menyebabkan kerusakan atau gangguan sistem.

Oleh karena itu, penting untuk memilih kabel dengan kapasitas yang

sesuai dan mempertimbangkan faktor-faktor keamanan seperti perlindungan terhadap overheating agar sistem kelistrikan tetap beroperasi dengan aman dan efisien.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data arus beban pada jaringan tegangan rendah di wilayah kerja ULP Medan Timur, diketahui bahwa beberapa gardu distribusi mengalami kelebihan beban yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada kabel penghantar. Penggunaan kabel eksisting dengan kapasitas arus yang tidak mencukupi terhadap beban aktual mengakibatkan suhu kerja kabel meningkat dan menurunkan umur teknisnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan transformator sisip pada titik-titik beban tinggi dapat menurunkan arus yang mengalir pada kabel eksisting pada Gardu Jaya 248,12 A menjadi 124,06 A, Gardu Pintu Air 263,46 A menjadi 11,73 A, Gardu Sei Kera 289,12 A menjadi 144,56 A, sehingga memperpanjang umur kabel dan mengurangi potensi kerusakan

Penambahan transformator sisip terbukti efektif dalam membagi beban jaringan, sehingga arus aktual yang sebelumnya melebihi kapasitas kabel dapat diturunkan hingga berada dalam batas aman. Setelah dilakukan pembagian beban dan simulasi penggunaan kabel alternatif (AAAC 150 mm² XLPE), didapatkan bahwa seluruh nilai arus aktual berada jauh di bawah batas kapasitas kabel, sehingga risiko kerusakan dapat diminimalkan secara signifikan.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang telah diperoleh dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan masukan dan pertimbangan dalam upaya meningkatkan keandalan jaringan distribusi tegangan rendah, khususnya dalam menanggulangi

kerusakan kabel akibat kelebihan beban. Adapun saran-saran yang dapat disampaikan sebagai tindak lanjut dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi Transformator Sisip: PLN ULP Medan Timur disarankan untuk menerapkan penambahan transformator sisip secara bertahap pada gardu-gardu dengan beban berlebih untuk menjaga keandalan distribusi energi listrik.
2. Penggantian Kabel: Sebaiknya dilakukan penggantian kabel eksisting dengan jenis kabel AAAC 150 mm² XLPE atau kabel lain yang memiliki kapasitas arus lebih tinggi untuk area dengan pertumbuhan beban tinggi.
3. Monitoring Berkala: Perlu dilakukan pemantauan arus beban secara berkala untuk mendeteksi dini kondisi kelebihan beban yang bisa menyebabkan gangguan atau kerusakan pada kabel penghantar.
4. Perencanaan Beban: Disarankan agar perencanaan distribusi beban mempertimbangkan pertumbuhan konsumsi listrik pelanggan agar sistem tetap bekerja pada kondisi optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Jeckson, Jeckson., Azis, Prayuda., Yenni, Afrida. (2022). 1. Analisis dampak overload transformator terhadap kualitas daya gardu k622 penyulang pelangi pt. pln (persero) ulp karang. doi: 10.36269/jtr.v4i1.986
- I, Wayan, Putu, Sutirta, Yasa. (2023). 2. Mengatasi transformator overload dengan metode uprating transformator pada gardu distribusi. Jurnal kajian teknik elektro, doi: 10.52447/jkte.v8i2.6745
- Harrij, Mukti, K., Rachmat, Sutjipto., Vidiasih. (2024). 3. Efektivitas Mutasi Transformator Dalam Mengatasi Fluktuasi Beban Pada Trafo Distribusi ULP Bululawang. Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, doi: 10.33795/elposys.v11i2.5187

- Suputra, Widharma., I, Nengah, Sunaya., I, Gde, Nyoman, Sangka., IM, Sajayasa., IKG, Sri, Budarsa. (2024). 4. Analysis of Efforts to Overcome Voltage Drops by Installing Substations in Low Voltage Networks with ETAP Simulation. *Frontier Energy System and Power Engineering*, doi: 10.17977/um049v5i1p01-08
- Sukamdi., Harrij, Mukti, K., Muhammad, Hadyan, Farizan., Muhammad, Rafid, Faiz, Firmansyah. (2023). 5. Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP Bojonegoro Kota. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, doi: 10.33795/elposys.v9i3.646
- Giri, Angga, Setia., Hadi, Setiawan., Fauzia, Haz., Een, Taryana. (2022). 7. Studi Penambahan Gardu Sisipan Tipe Tiang untuk Mengatasi Beban Lebih di PT PLN (PERSERO) Area Cianjur Rayon Mande. doi: 10.55893/epsilon.v20i2.95
- Nurhaliza Dewi, S. H. (2023). Studi Drop Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 kV Antara Gardu Induk Siglli Dengan Gardu Induk Express Trienggadeng Menggunakan Software Etap. *Jurnal Energi Elektrik*, Volume 12 Nomor 01.
- Aryusono. (2021). Analisis Perbaikan Jatuh Tegangan (Voltage Drop) Pada Penyulang Lubuk Jambi Di Area Pelayanan PT. PLN (Persero) ULP Taluk Kuantan.
- Rahmaniar, R., Khairul, K., Junaidi, A., & Fahreza, I. (2025). Development of Simulation-based Transmission Line Learning Media: Case Study of GMR-GMD Model on Voltage Regulation and Transmission Line Efficiency. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 17(2), 1833–1843. <https://doi.org/10.35445/ALISHLAH.V17I2.7116>
- S. S. Wibowo, “Analisa Sistem Tenaga,” UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema, vol. 1, 2018.
- D. N. B. S. D. A. Maulana, “Analisa Susut Daya dan Drop Tegangan Terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Gardu Induk Pandean Lamper Semarang,” KIMU Konferensi Ilmiah Siswa Unissula, vol. 2, pp. 382-389, 2019.
- Anisah, S., Tharo, Z., & Suhardi, S. (2019). ANALISIS PERBAIKAN TEGANGAN UJUNG PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV DENGAN SIMULASI E-TAP (STUDI KASUS PT PLN (PERSERO) RAYON KUALA. *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2(1), 208–213. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1314>
- IEC 60287-1-2:2023. (t.t.). Diambil 11 Mei 2025, dari <https://webstore.iec.ch/en/publication/68120>
- STANDAR KONSTRUKSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH TENAGA LISTRIK. (t.t.). PT PLN (Persero).
- Anisah, S., Rahmaniar, R., & Khaizairani, A. (2018). Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Express Trienggadeng Daerah Kerja PT PLN (Persero) Area Sigli Rayon Meureudu Dengan Simulasi E-Tap. *SEMNASTEK UISU 2018*.
- Situmorang, H. F., Wibowo, P., & Lubis, Z. (2024). ANALISIS PENGGUNAAN KAPASITOR BANK DALAM UPAYA PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA LOW VOLTAGE MAIN DISTRIBUTION PANEL (LVMDP) DI PT.PERMATA HIJAU PALM OLEO (PHPO) KIM II.

*INTECOMS: Journal of Information
Technology and Computer Science*,
7(3), 990–1001.
[https://doi.org/10.31539/INTECOM
S.V7I3.10813](https://doi.org/10.31539/INTECOM
S.V7I3.10813)

Pratama, R. B., Wibowo, P., & Anisah, S.
(2025). Analisis Pengaruh
Penggantian Konduktor pada
Saluran Udara Tegangan Menengah
20kV terhadap Drop Tegangan di
PT. PLN (Persero) UP3 Bangkinang.
Jurnal Penelitian Inovatif, 5(2),
803–812.
<https://doi.org/10.54082/JUPIN.1361>